

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет електроніки**

**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри



Найда С.А.

(ініціали, прізвище)

“05” Червня 2020 р.

**Дипломна робота**  
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 171 Електроніка

на тему: Нормування гучності та шуму в приміщеннях різного  
призначення

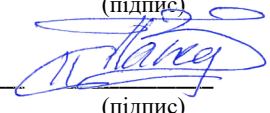
Виконав(ла): студентка 4 курсу, групи ДГ-г61-1 \_\_\_\_\_

Павелко Олександра Миколаївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

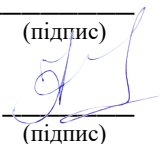
Керівник доцент каф. АМЕС, к.т.н, доц.Заєць В. П.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)


Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент інженер-акустик ТОВ «Нормаізол», к.т.н. Сокіл Н.О.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)



Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет \_\_\_\_\_ Електроніки  
(повна назва)

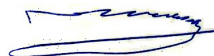
Кафедра \_\_\_\_\_ акустичних та мультимедійних електронних систем  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) \_\_\_\_\_ 171 Електроніка  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри



Найда С.А.  
(ініціали, прізвище)

“05” Червня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проект (роботу) студенту**  
**Павелко Олександрі Миколаївні**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Нормування гучності та шуму в приміщеннях різного призначення» \_\_\_\_\_

керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Заєць Віталій Пантелєйович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 25» травня 2020 р. №1196-с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05 червня 2020 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) : ISO 3382-3:2012, Державний класифікатор будівель та споруд, ДСН 3.3.6.037-99, ДБН В.1.1-31:2013. \_

4. Зміст (дипломної роботи) пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити): провести огляд нормативної бази України; вказати на недоліки нормативної бази шляхом аналізу іноземних статей; підвести підсумки. \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): презентація десять слайдів. \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

## 7. Дата видачі завдання 20.04.20

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд літератури	24.04.20-30.05.20	Виконано
2	Написання 1 розділу	01.05.20-10.05.20	Виконано
3	Написання 2 розділу	11.05.20-20.05.20	Виконано
4	Написання 3 розділу	21.05.20-30.05.20	Виконано
5	Оформлення ДП	31.05.20-05.06.20	Виконано

Студент

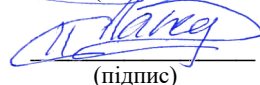


(підпис)

О.М. Павелко

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту (роботи)



(підпис)

В.П. Заєць

(ініціали, прізвище)

---

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

## РЕФЕРАТ

Нормування лункості та шуму в приміщеннях різного призначення // Дипломна робота на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» Павелко О.М. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», факультет електроніки, кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем, група ДГ-г-61-1. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.

Сторінок - 48, рисунків - 3, таблиць – 2.

Метою даної роботи є вказати на недоліки нормативної бази України, шляхом аналізу іноземних статей.

Основними недоліками нормативної бази виявились класифікація приміщень у зв'язку з чим важко визначитись із нормами шуму, і неврахування лункості та психофізичного стану людей під час роботи.

Ключові слова: нормування шуму, лункість, реверберація, приміщення.

## **ABSTRACT**

Rumble and noise leveling in rooms for various purposes // Thesis for a higher education "Bachelor". Chepil O.V. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Faculty of Electronics, Department of Acoustic and Multimedia Electronic System, group DG-g61-1. – K: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020.

Pages – 48, figures – 3, tables – 2.

The purpose of this work is to point out the shortcomings of the regulatory framework of Ukraine by analyzing foreign articles.

The main drawbacks of the regulatory framework were classification of premises, so it is difficult to determine the norms of noise, and not taking into account the hum and psychophysical state of people during work.

Key words: noise rationing, humming, reverberation, premises.

## **ЗМІСТ**

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Шум та його класифікація .....	10
1.2. Нормування шуму .....	11
1.3. Будівлі та приміщення.....	20
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>24</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ЛУНКІСТЬ У ПРИМІЩЕННІ.....</b>	<b>26</b>
2.1. Час реверберації та лункість .....	26
2.2. Основні особливості акустичних характеристик лунких приміщень.....	28
2.3. Наслідки реверберації в класних кімнатах .....	29
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>34</b>
<b>РОЗДІЛ 3. НЕДОЛІК СТАНДАРТІВ.....</b>	<b>35</b>
3.1. Приміщення відкритого планування .....	35
3.2. Суб'єктивні дослідження.....	37
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>44</b>
<b>ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ.....</b>	<b>45</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>47</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

STI(speech transmission index) – індекс передачі мови

## **ВСТУП**

У сучасному світі з'являється все більше нових професій, які вимагають концентрації та уваги у роботі. Тому вирішення проблеми шумового та ревербераційного забруднення є і завжди буде актуальним. Ефективним методом усунення шуму є безпосередньо зменшення його рівня у самого джерела. Однак це не завжди можливо, тому також раціональним є захист від його впливу.

Оскільки розумова діяльність вимагає високої концентрації, шум та реверберація є її головними проблемами. В залежності від місця виконання такого типу роботи залежать методи боротьби з ними. Реверберація що спотворює прямий звук посилює шум, при умові що вона перевищує оптимальні значення для даного приміщення.

У даній роботі розглядатиметься питання нормування шуму в Україні, у тому числі його недоліки, з урахуванням лункості та інших, суб'єктивних факторів що впливають на розумову діяльність та працездатність людини.



## РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

Шум завжди був частиною людського життя. З розвитком технологій з'являлись і нові джерела шуму, а саме тому не є випадковістю поява такої науки як архітектурна акустика. Завдання архітектурної акустики – забезпечити необхідні акустичні умови у приміщеннях. Для цього було сформовано три теорії аналізу звукового поля приміщень: статистична, геометрична та хвильова.

Статистичний метод описання звукових полів оперує середніми значеннями густини звукової енергії в приміщенні і не претендує на визначення тисків і коливальних швидкостей в окремих його точках [1].

Вважається, що закони відбиття звуку аналогічні законам в геометричній оптиці. Основою досліджень в геометричній акустиці є побудова відбиттів звукових хвиль від поверхонь, завдяки яким можна побачити напрямок поширення звукової хвилі. За відомою швидкістю поширення звуку, ці побудови дозволяють визначити запізнення звукових променів і виявити недоліки тої чи іншої площадки відбиттів.

Хвильова теорія виходить з фізичних закономірностей звукових процесів, що протікають в приміщенні. Головний недолік даної теорії є складність математичного апарату, яка не дозволяє поки що одержати необхідні для акустичного проектування розрахункові формули. Методи хвильової акустики застосовують на практиці для приміщень малого об'єму правильної форми в низькочастотному діапазоні [1].

Отже існуючі методи розрахунку звукових полів приміщень сформовані на засадах хвильової, статистичної та геометричної акустичної теорії. В основному, в будівництві для врахування акустичних якостей майбутніх приміщень, використовують теорії статистичної і геометричної акустики, в силу їх простоти та наочності, порівняно з хвильовою.

Оскільки темою дипломної роботи є «Нормування лункості та шуму в приміщеннях різного призначення», правильно було б для початку розглянути що ж таке шум, як він нормується та які існують приміщення і споруди.

### **1.1. Шум та його класифікація**

Для розуміння розглянемо поняття шум, основі його джерела та класифікацію. За ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартів безпеки. Шум. Общие требования безопасности», шум – це звукові коливання в діапазоні чутних частот, які можуть шкідливо впливати на безпеку і здоров'я працівника [2] Оскільки будемо розглядати шум в приміщеннях з різним призначенням, мовні повідомлення, музику та подібні звукові сигнали будемо розглядати як шум.

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» розглянемо деякі поняття про шум та його класифікацію.

Загальний шум – шум в певній ситуації і в певному місці, зазвичай складається з шуму різних джерел, як рухомих, так і стаціонарних.

Шум відомого джерела – частина загального шуму, яка може бути визначена і приписана конкретному джерелу шуму.

Фоновий (залишковий) шум – частина загального шуму при відключенні одного, або декілька відомих джерел.

Зовнішні джерела шуму – джерела шуму, розташовані поза будівлею з приміщеннями, в яких вимірюються рівні шуму, або на території або поза її межами в приміщеннях спеціального призначення або відкрито.

Внутрішні джерела шуму – джерела шуму всередині будівлі з приміщеннями, в яких вимірюються рівні шуму, в тому числі, можливо, і в самих цих приміщеннях. Внутрішніми джерелами шуму можуть бути також огорожувальні конструкції приміщень, якщо вони здійснюють вимушені коливання під впливом джерел вібрації, які перебувають як усередині будівлі, так і поза нею.

За характером спектра шуми поділяють на:

- широкосмуговий з безперервним спектром шириною більше однієї октави(октава - це безрозмірна одиниця частотного інтервалу, яка дорівнює інтервалу між двома частотами, з яких верхня гранична частота вдвічі більша від нижньої);
- тональний, в спектрі якого є виражені дискретні тони. Тональний характер шуму для практичних цілей (при контролі його параметрів на робочих місцях) встановлюють виміром в третиннооктавних смугах частот при перевищенні рівня звукового тиску в одній смузі над сусідніми не менш як на 10 дБ.

За часовими характеристиками:

- постійний, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється в часі не більше ніж на 5 дБ А при вимірах на тимчасовій характеристиці «повільно» шумоміра;
- непостійний, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється в часі більш ніж на 5 дБ А при вимірах на тимчасовій характеристиці «повільно» шумоміра.

Непостійний шум слід поділяти на:

- коливний в часі, рівень звуку якого безперервно змінюється в часі;
- переривчастий, рівень звуку якого східчасто змінюється (на 5 дБ А і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, становить 1 с і більше;
- імпульсний, що складається з одного або декількох звукових сигналів, кожен тривалістю менше 1 с, при цьому рівні звуку, виміряні в дБ АІ і дБ А відповідно на тимчасових характеристиках «імпульс» і «повільно» шумоміра, відрізняються не менш, ніж на 7 дБ. [3]

## 1.2. Нормування шуму

Нормування і контроль шуму здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» и ГОСТ 12.1.003—83.

Параметри постійного шуму на робочих місцях, що нормуються, є рівнями звукових тисків у октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц в децибелах, які визначаються за формулою:

$$L = 20 \lg P/P_0, \quad (1)$$

де:  $P$  - середньоквадратичне значення звукового тиску у кожній октавній смузі, Па;

$P_0$  - вихідне значення звукового тиску у повітрі, що дорівнює  $2 \times 10^{-5}$  Па.

При орієнтовній гігієнічній оцінці параметрів постійного широкосмугового шуму на робочих місцях, що нормуються, дозволяється застосовувати рівень шуму в дБА, виміряний по шкалі "А" часової характеристики "повільно" шумоміра та визначений за формулою:

$$L_A = 20 \lg P_A / P_0 \quad (2)$$

де:  $P_A$  - ефективне значення звукового тиску з урахуванням корекції "А" шумоміра, Па. Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях наведені у табл.1. [3]

Середній рівень звуку або октавних рівнів звукового тиску визначається згідно з ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», додатком 1.

Параметрами непостійного шуму (що коливається в часі та переривається) на робочих місцях, які нормуються, є інтегральний рівень - еквівалентний (по енергії) та максимальний рівень шуму у дБА.

Таблиця 1

№ п/ п	Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньогометричними частотами, Гц									Рівні шуму еквівалентні рівні шуму, та ДБА, дБАекв.
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Підприємства, установи, організації</b>											
1	Творча діяльність, 86 керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання та навчання, лікарська діяльність; робочі місця у приміщеннях - дирекції, проектно-конструкторських бюро, розрахувачів, програмістів обчислювальних машин у лабораторіях для теоретичних робіт та обробки даних, прийому хворих у медпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
2	Висококваліфікована робота, що вимагає осередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії: робочі місця в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
3	Робота, що виконується з вказівками та акустичними сигналами, які часто знаходять, робота, що потребує постійного слухового контролю, операторська робота за точним графіком з інструкцією, диспетчерська робота: робочі місця у приміщеннях диспетчерської служби, кабінетах та	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

	приміщеннях спостереження та дистанційного керування з мовним зв'язком по телефону, друкарських бюро, на дільницях точного складання, на телефонних та телеграфних станціях, у приміщеннях майстрів, у залах обробки інформації на обчислювальних машинах без дисплея та у приміщеннях операторів-акустиків										
4	Робота, що вимагає зосередження, робота з підвищеними вимогами до процесів спостереження та дистанційного керування виробничими циклами: робочі місця за пультами у кабінах нагляду та дистанційного керування без мовного зв'язку по телефону; у приміщеннях лабораторій з шумним устаткуванням, шумними агрегатами обчислювальних машин	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
5	Виконання всіх видів робіт (крім перелічених у пп. 1 - 4 та аналогічних їм) на постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та території підприємств	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
<b>Рухомий склад залізничного транспорту</b>											
6	Робочі місця у кабінах машиністів тепловозів, електровозів, поїздів метрополітену, дизель-поїздів та автомотрис	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
7	Робочі місця у кабінах машиністів швидкісних та приміських електропоїздів	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75

[illegible]

16	Робочі місця водіїв та обслуговуючого персоналу тракторів, сільськогосподарчих, меліоративних, шляхово-будівельних, землерийних, транспортних та інших аналогічних машин, водіїв вантажних машин	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
17	Робочі місця водіїв автобусів	99	91	83	77	73	70	68	66	64	75
18	Робочі місця водіїв легкових автомобілів	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
<b>Пасажирські і транспортні літаки та вертольоти</b>											
19	Робочі місця екіпажу та бортпроводників	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для імпульсного шуму нормованим параметром є еквівалентний рівень шуму у дБАекв. та максимальний рівень шуму - у дБА1. Еквівалентний рівень - це рівень постійного шуму, дія якого відповідає дії фактичного шуму із змінними рівнями за той же час, виміряного по шкалі "А" шумоміра. Еквівалентний рівень визначається відповідно до ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», додатків 2 та 3.

Допускається для характеристики виробничого шуму на робочих місцях застосовувати дозу шуму або відносну дозу шуму.

За ДБН В.1.1-31-2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» встановленні наступні допустимі рівні шуму, для приміщень розглянуті в цій роботі. [4]

Таблиця 2. Допустимі рівні шуму

Ч.ч.	Призначення приміщення або території	Час доби	Рівні звукового тиску $L_{\text{доп}}$ , дБ (еквівалентні рівні звукового тиску $L_{\text{екв доп}}$ , дБ) в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц										Рівень звуку $L_A$ доп (еквівалентний рівень звуку $L_{A\text{екв доп}}$ ), дБА	Максимальний рівень звуку $L_A$ макс доп, дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	400	8000			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	



1	Операційні приміщення в лікарнях	-	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
2	Палати лікарень і санаторіїв	Денний	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		Нічний	69	51	39	31	24	20	17	14	13	25	40
3	Кабінети лікарів поліклінік, амбулаторій, диспансерів, лікарень, санаторіїв, масажні та косметологічні кабінети, аптеки	-	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
4	Житлові приміщення будинків відпочинку, пансіонатів, будинків-інтернатів для людей похилого віку і інвалідів	Денний	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		Нічний	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
5	Спальні приміщення в дитячих дошкільних закладах і школах-інтернатах	Денний	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		Нічний	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
6	Житлові приміщення квартир	Денний	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		Нічний	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
7	Житлові кімнати в будинках гуртожитків	Денний	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		Нічний	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
8	Житлові номери готелів: - категорії 4 зірки і 5 зірок <sup>1)</sup>	Денний	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
		Нічний	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
	- категорії 3 зірки <sup>1)</sup>	Денний	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
		Нічний	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45
	- категорії менше ніж 3 зірки	Денний	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
		Нічний	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
9	Приміщення класів, навчальні кабінети, кімнати викладачів, аудиторії шкіл і інших навчальних закладів	-	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
10	Музичні класи <sup>1)</sup>	-	76	59	48	40	34	30	27	25	23	35	50
11	Робочі приміщення офісів, банків, кабінети і робочі приміщення в	-	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65

	адміністративних будинках <sup>1)</sup>												
12	Робочі приміщення і кабінети науково- дослідних і проектно- конструкторських організацій <sup>1)</sup>	-	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	65
13	Конференц-зали, читальні зали бібліотек	-	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55
14	Зали для глядачів у клубах, кінотеатрах, дозвіллевих закладах, зали засідань і судових нарад <sup>1)</sup>	-	79	63	52	45	39	35	32	30	28	40	55

Недоліком таких допусків є те, що в них описане тільки загальне призначення приміщення, а не його кількісні характеристики(загальна площа, об'єм, кількість людей, робочий шум що створює одна людина, план приміщення, а також кількість та розташування у ньому меблів).

Обов'язковою складовою частиною проектної документації з планування і забудови міст, селищ, сільських поселень, районів, мікрорайонів і кварталів міст, автомагістралей, залізничних шляхів, окремих будинків і споруд тощо має бути розділ «Захист від шуму», який повинен містити:

на стадії розроблення генерального плану міст і сільських поселень – карти шуму на територіях, прилеглих до вулично-дорожньої мережі, автомобільних доріг, ліній водного, повітряного і залізничного транспорту, аеропортів, промислових, комунально-складських зон, окремих промислових, енергетичних та інших шумних об'єктів;

схеми функціонального і територіального зонування з урахуванням забезпечення максимально сприятливого акустичного режиму на прилеглих територіях житлової забудови;

на стадії ТЕО об'єктів виробничого призначення (промзон, груп або окремих підприємств) – карти шуму на прилеглих територіях з нормованими рівнями шуму, архітектурно-планувальні і будівельно-акустичні заходи стосовно

зниження впливу шуму на навколишнє середовище, обґрунтування розмірів розрахункових санітарно-захисних зон за фактором шуму;

на стадії проектів детального планування і забудови житлових районів, мікрорайонів, кварталів поселення, громадських центрів і комплексів – карти шуму на відповідних територіях; розрахунки очікуваних рівнів шуму біля фасадів та в приміщеннях житлових і громадських будинків з нормованими рівнями шуму, на площадках відпочинку, ландшафтно-рекреаційних територіях, зонах відпочинку;

перелік, обґрунтування і акустичну ефективність застосованих будівельно-акустичних засобів зниження шуму на території житлової забудови (улаштування шумозахисних екранів на ділянках транспортних магістралей, типи і розташування шумозахисних будівель на магістральних вулицях, улаштування шумозахисних смуг зелених насаджень, застосування шумозахисних вікон на фасадах будинків, орієнтованих у бік магістральних вулиць.

В акустичний паспорт об'єкта вносяться:

- загальні відомості про об'єкт;
- шумові характеристики джерел шуму (зовнішніх і внутрішніх), які впливають на об'єкт паспортизації, з зазначенням їх місцезнаходження;
- нормовані акустичні параметри основних приміщень і територій об'єкта паспортизації з посиланням на відповідні нормативні документи (допустимі рівні шуму, вимоги до звукоізоляції огорожень і їх елементів, а також відомості про основні конструктивні вирішення та використані вироби і матеріали);
- висновки стосовно дотримання акустичних норм в цілому по об'єкту і за окремими його складовими після реалізації проекту шумозахисту.

### **1.3. Будівлі та приміщення**

За державним класифікатором будівель та споруд, об'єктами класифікації якого є будівлі виробничого та невиробничого призначення та інженерні споруди різного функціонального призначення, знаємо:

- Споруди - це будівельні системи, пов'язані з землею, які створені з будівельних матеріалів, напівфабрикатів, устаткування та обладнання в результаті виконання різних будівельно-монтажних робіт. [5]
- Будівлі - це споруди, що складаються з несучих та огорожувальних або сполучених (несучо-огорожувальних) конструкцій, які утворюють наземні або підземні приміщення, призначені для проживання або перебування людей, розміщення устаткування, тварин, рослин, а також предметів. [5]

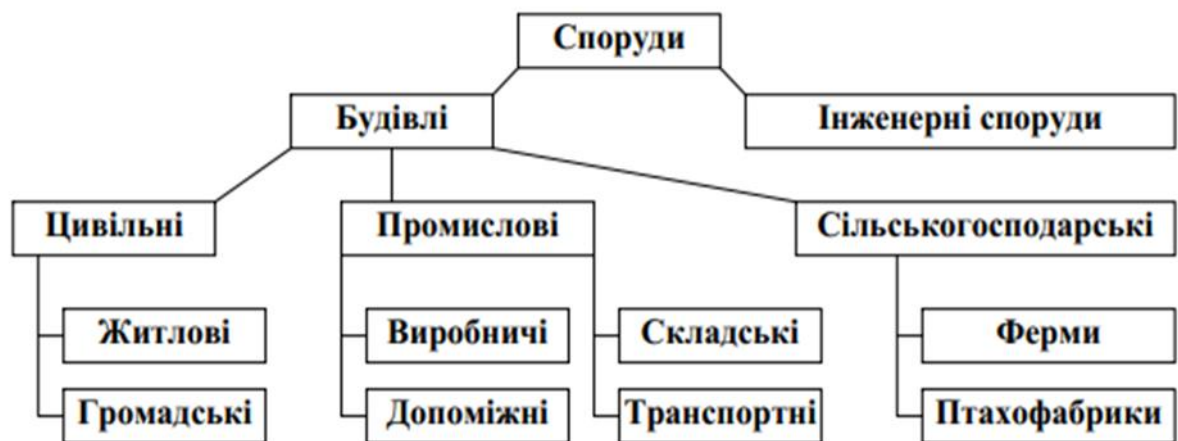


Рис.1. Класифікація споруд за призначенням

До будівель відносяться: житлові будинки, гуртожитки, готелі, ресторани, торговельні будівлі, промислові будівлі, вокзали, будівлі для публічних виступів, для медичних закладів та закладів освіти тощо [5].

Інженерні споруди - це об'ємні, площинні або лінійні наземні, надземні або підземні будівельні системи, що складаються з несучих та в окремих випадках огорожувальних конструкцій і призначені для виконання виробничих процесів різних видів, розміщення устаткування, матеріалів та виробів, для тимчасового перебування і пересування людей, транспортних засобів, вантажів, переміщення рідких та газоподібних продуктів тощо [5]. Подальша класифікація інженерних споруд нас не цікавить.

Житлові будівлі — це будівлі для постійного або тимчасового перебування людей

Громадські будівлі – це будівлі де люди перебувають тимчасово, у зв'язку з виконанням функціональних процесів, які забезпечують життєдіяльність та розвиток суспільства

Промислові будівлі – це будівлі де люди перебувають тимчасово, у зв'язку з виконанням технологічних процесів з випуску товарної продукції

Будівлі класифікуються за їх функціональним призначенням. Будівлі, що використовуються або запроектовані для декількох призначень (комбіноване житло, готель і контора), повинні бути ідентифіковані за однією класифікаційною ознакою відповідно до головного призначення. Головне призначення повинно бути визначається таким чином: обчислюється відсоткове співвідношення площ різних за призначенням приміщень будівлі в складі повної загальної площі та віднести ці приміщення згідно з їх призначенням чи використанням до відповідного класифікаційного угруповання.

Будівлі, що використовуються або запроектовані для декількох призначень (комбіноване житло, готель і контора), повинні бути ідентифіковані за однією класифікаційною ознакою відповідно до головного призначення. Головне призначення повинне бути визначене таким чином:

- обчислюється відсоткове співвідношення площ різних за призначенням приміщень будівлі в складі повної загальної площі з віднесенням цих приміщень згідно з їх призначенням чи використанням до відповідного класифікаційного угруповання;

- потім будівля класифікується за методом "згори - донизу". Будівлю спочатку відносять до розділу, що охоплює всю чи більшу частку всієї її загальної площі. Далі їх відносять до підрозділу - житлові будівлі, нежитлові будівлі за найбільшою питомою вагою площі в цій будівлі. Наступним кроком визначається група за найбільшою часткою всієї загальної площі в межах підрозділу. Нарешті, вибирається належність будівлі до класу за найбільшою часткою всієї загальної площі в межах групи. [5]

За наказом Державного Комітету будівництва, архітектури та житлової політики України «Про затвердження Інструкції про порядок проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна (Інструкція, розд.1, п.2) 24.05.2001 № 127», приміщення — це частина внутрішнього об'єму будівлі, обмежена з усіх сторін захисними конструкціями - стінами або перегородками (у тому числі з вікнами і дверима) зі стелею (перекриттям) і підлогою, з можливістю входу і виходу. Горищний простір, а також простір, огорожений сітчастими захисними конструкціями, перегородками не до стелі (перекриття) заввишки менше ніж 190 см, не є приміщенням. [6]

З ГОСТ 30494-2011 «Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях» така класифікація приміщень громадського та адміністративного призначення [7]:

- приміщення 1-ї категорії: приміщення, люди в яких знаходяться в положенні сидючи або лежачі в стані спокою і відпочинку;
- приміщення 2-ї категорії: приміщення, в яких люди зайняті розумовою працею, навчанням;
- приміщення 3а категорії: приміщення з масовим перебуванням людей, в яких люди перебувають переважно в положенні сидючи без верхнього одягу;
- приміщення 3б категорії: приміщення з масовим перебуванням людей, в яких люди перебувають переважно в положенні сидючи у верхньому одязі;
- приміщення 3в категорії: приміщення з масовим перебуванням людей, в яких люди перебувають переважно в положенні стоячи без верхнього одягу;
- приміщення 4-ї категорії: приміщення для занять рухливими видами спорту;
- приміщення 5-ї категорії: приміщення, в яких люди перебувають в напівроздягнутому вигляді (роздягальні, процедурні кабінети, кабінети лікарів і т. П.);
- приміщення 6-ї категорії: приміщення з тимчасовим перебуванням людей (вестибюлі, гардеробні, коридори, сходи, санвузли, курильні, комори).

## ВИСНОВКИ

В цьому розділі розглядаються основні поняття та способи нормування шуму, які використовуються в сучасних методах його вимірювання та аналізу. Серед них: саме шум, будівля, та приміщення. Також розглянуто класифікації цих понять. Така інформація є базовою в сучасних технологіях звукозахисту та шумоізоляції. Також наведена таблиця допустимих рівнів звуку.

З огляду на існуючу нормативну документацію, за останньою редакцією, України чіткої класифікації приміщень, що охоплює всі типи та види функціонального призначення не існує. Це ускладнює саму можливість нормування шуму та інших акустичних параметрів приміщення. Є певні рекомендації щодо акустичних умов, з точки зору акустичного проектування, а саме за об'ємом та типом програми на яку орієнтоване приміщення. Можемо бачити тільки часткову класифікацію, в документації яка направлена на певний тип будівлі з можливими типами приміщення в ньому. Прикладом є ДБН В.2.2-3:2018 «Заклади освіти», де в перелік класифікації за функціональним призначенням перераховані класи, аудиторії, спортивні зали (фізкультурно-спортивні), актові зали (культурно-видовищні), приміщення харчування. За ГОСТ 30494-2011 «Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях» є загальна класифікація приміщень, де враховується стан/тип перебування людини: сидячи, лежачи, у верхньому одязі чи без та вид діяльності. Норми по шуму враховують лише тип праці яку виконує людина, і відповідно не враховує в якому саме приміщенні вона виконується.

Ще одним недоліком нормативної бази є допуски (норми) рівнів шуму в приміщеннях різного типу. Ця проблема впливає з попередньої, і призводить до того що іноді важко визначити тип приміщення, не знаючи його планування, або ж кількісні характеристики, такі як загальна площа, об'єм, кількість людей, що в ньому перебувають, і т.д.

В наступних розділах буде розглянуто вплив шуму на працездатність і продуктивність, на прикладі статті, в якій проведено дослідження офісу типу



«*openspace*» (відкритий простір) – офіс відкритого планування, та запропоновані методи зниження впливу цього шуму.

Також буде проведено розбір поняття лункості приміщення та її вплив на роботу на прикладі дослідження, проведеного у британській школі для дітей з вадами слуху.

## **РОЗДІЛ 2. ЛУНКІСТЬ У ПРИМІЩЕННІ**

### **2.1. Час реверберації та лункість**

На початку свого існування в архітектурній акустиці розглядалось лише поняття шуму. Але досліді Себбіна показали що у будь-якому приміщенні присутня також реверберація – перевідбиття сигналу, що випромінюється диктором, співаком, актором, музичними інструментами, тощо. Після цього проектування приміщень ґрунтувалось також на засадах реверберації – не повністю позбавитись перевідбиттів, а зробити так щоб вони надавали культурним програмам найбільш естетичного забарвлення.

Чим більший час реверберації, тим більше звуків накладаються один на інший, а значить мова стає менш розбірливою, а музика перестає бути музикою. Якщо ж перевідбиттів не буде взагалі, мова буде занадто розбірливою, і її сприйняття зменшиться, а в музики зникне післязвучання, і як наслідок втрата мелодійності і поліфонійності. Саме тому для різних програм існує свій оптимальний час реверберації, тобто такий, при якому звучання програм набуває свого естетичного піку та найліпшого звучання.

Для мовних програм, основним завданням є забезпечення прийнятної розбірливості. Відповідно до міжнародних стандартів, під розбірливістю розуміють ступінь, з яким мова може бути зрозумілою слухачам. Зараз існує багато стандартів, за якими визначається розбірливість у приміщенні. В Україні показником розбірливості є коефіцієнт артикуляції  $A\%$ , тобто відсоток вірно зрозумілих елементів мови, з якого можливо розрахувати розбірливість складову, словесну та фразову. Зазвичай використовують оцінку саме складової, або словесної розбірливості, як найбільш наочного показника.

Реверберація грає провідну роль у створенні гарної розбірливості мови, оскільки, як вже було сказано, з великим часом реверберації сигнал накладається сам на себе із запізненням, і мова стає більш розмитою і незрозумілою. Тому при проектуванні приміщення з прийнятною розбірливістю увагу приділяють саме збільшенню відношення енергії прямого до енергії відбитого звуку на усіх глядацьких місцях.

Але увагу приділяють не тільки таким об'єктивним показникам як зазначене відношення. Зазвичай саме фахівці суб'єктивно визначають наскільки придатним є приміщення. Як приклад, вищезазначений коефіцієнт артикуляції може визначатись повністю за участю людей, без апаратного, або ж програмного втручання. Також фахівці оцінюють не тільки числові показники. Серед таких параметрів, які не можна розрахувати, а лише вказати на їх присутність та вплив: лункість або життєвість; повнота звуку; чіткість і ясність; інтимність; теплота; яскравість; просторовість; гучність; баланс; ансамбль; тембр, а також негативні фактори: луна, луна, що пурхає і завади (шуми).

Лункість - акустичний дефект приміщення, що виражається у високому рівні реверберації. Лункість та реверберація мають тісний зв'язок, тому розглядаючи лункість у приміщенні, ми говоримо про реверберацію. Говорити про лункість у приміщенні можна тоді коли відстань, на якій знаходиться слухач відносно диктора, перевищує так званий радіус лункості. Радіус лункості – це відстань, на якій енергія прямого поля дорівнює енергії дифузного поля.

$$r_h = \sqrt{\frac{\alpha S}{16\pi(1-\alpha)}} \quad (1)$$

Шум у лункому приміщенні - суперпозиція сигналів з багатьох джерел (людей). У великому приміщенні виникає лункість, у зв'язку з високою реверберацією. Це означає що шум, що заповнює приміщення, відносно довго затухає. З цього слідує що для зменшення рівня шуму, що значить позбутись ефекту суперпозиції сигналів. Повністю позбутись цього ефекту неможливо, але можна його пригнічити шляхом зниження ефекту лункості, тобто зменшення реверберації.

В реальних приміщеннях (окрім спеціальних) час стандартної реверберації знаходиться в межах від кількох десятих секунди до кількох секунд. Приміщення з малим часом реверберації називають заглушеними, а з великим – лункими.

## **2.2. Основні особливості акустичних характеристик лунких приміщень**

Високу лункість, як правило, мають приміщення великих об'ємів. Великий час реверберації в них, значно перевищує оптимальне, викликане малим звукопоглинанням огорожувальних поверхонь. Такі приміщення частіше за все зустрічаються в будівлях громадського та виробничого призначення. При їх побудові велику кількість виділяють санітарно-гігієнічним та протипожежним вимогам. У зв'язку з цим до недавнього часу переважно використовувались тверді оздоблені матеріали з гладкою блискучою поверхнею (поліром камінь, скло, глазуровані плити і т.п.).

Час реверберації в таких приміщеннях на низьких частотах може досягати 5-6 с. зі зростанням частоти час реверберації в таких приміщеннях суттєво зменшується за рахунок поглинання звуку повітрям. Підняття характеристики на низьких частотах призводить до неприємного звучання схожим до бубоніння.

В залежності від призначення приміщення та його форми, характеристики часу реверберації при заповненому приміщенні будуть змінюватись в більшій чи меншій мірі(ступені). Наприклад, так у високому приміщенні, з урахуванням його повної заповненості час реверберації залишається неприпустимо великим. Зворотну ситуацію бачимо в приміщенні з низькою стелею; навіть при частковому заповненні приміщення час реверберації суттєво знижується і тому акустичні характеристики такого приміщення є нестабільними.

Підвищена лункість приміщень часто супроводжується високим рівнем шумів, оскільки, по-перше, при їх побудові не приймають спеціальних мір для підвищення звукоізоляції, і тому рівень проникаючих шумів може бути достатньо високим, по-друге, публіка, що заповнює громадські будівлі та обладнання в виробничих приміщеннях є джерелом шуму великої потужності. В поєднанні з підвищеною лункістю все це призводить до недопустимо високого рівня шумів.

Однак на практиці зустрічаються випадки, коли в лунких приміщеннях рівень шуму відносно низький (наприклад, в деяких музеях).

Спектральний склад шуму може бути різним. Якщо основним джерелом шуму є публіка, то спектр виходить суцільним; якщо джерелом шуму є обладнання в виробничих приміщеннях, то шуми можуть мати тональне забарвлення (дзвін, гудки і т.п.).

Шум, утворений публікою, в основному викликаний розмовами. Основна потужність мови зосереджена, як відомо, в області низьких та середніх частот. Тому в лунких приміщеннях публіка створює шуми, спектральна щільність яких швидко падає з частотою. Спектр шумів в виробничих приміщеннях визначається особливостями обладнання, що використовується.

### **2.3. Наслідки реверберації в класних кімнатах**

В лунких приміщеннях великих розмірів особливо помітні різноманітні акустичні дефекти. В приміщеннях з паралельними поверхнями, які знаходяться на невеликих відстанях, можливе утворення стоячих хвиль. Це призводить до збільшення нерівномірності звукового поля, що особливо є шкідливим при роботі системи звукопідсилення.

Проте значно менше досліджень присвячені вивченню наслідків реверберації різного ступеня тяжкості в класних кімнатах. Представлене тут дослідження [8] є найбільш великим, систематичним дослідженням, що вивчає вплив реверберації в робочому шкільному середовищі. Встановивши різні акустичні обробки в трьох аналогічних класах, вдалося досліджувати істинний вплив різних акустичних ефектів в зайнятих шкільних приміщеннях. Три класні кімнати плюс необроблена кімната були зіставлені як об'єктивно через акустичні виміри, так і суб'єктивно через опитування думок учнів, учителів і інших дорослих. Результати переконливо демонструють переваги поліпшення акустичного середовища для усіх. Дослідження показали, що успішність учнів страждає, коли їх навчають в класах, де спілкування утруднюється високим рівнем шуму або поганою акустикой приміщень. Також було встановлено, що

учні, що використовують слухові апарати і кохлеарні імпланти, чутливіші, ніж більшість інших учнів, до поганої акустики приміщення.

У шестимісячному експериментальному дослідженні використовувалися чотири аналогічні класні кімнати в математичному відділі школи Свейн-парк - загальноосвітньої школи з великою ресурсною базою для учнів з порушеннями слуху. Три класні кімнати цієї школи були модифіковані акустично. Кожна з них була модифікована по-своєму, при цьому візуальні зміни були зведені до мінімуму. Четвертий клас використовувався як контроль. Це було, наскільки це було можливо, сліпе дослідження; персонал і учні не знали, коли були внесені зміни в модифіковані класи.

На кожному етапі були проведені інтерв'ю з учителями і працівниками служби підтримки комунікації, що допомагали учням, які недочували, під час уроків. Запрошена група учителів, акустиків і інших фахівців провела короткі презентації на кожному з класів і заповнила семантичні диференціальні анкети.

Усі стандарти, на які робиться посилення в цьому дослідженні встановили критерії для акустики приміщення з точки зору часу реверберації. Час реверберації – тривалість спаду інтенсивності звуку на 60 дБ. Традиційно він вимірюється за допомогою імпульсного джерела, такого як постріл або вибух гумової кульки, хоча нині прийнято використовувати гучномовець, що випромінює переривчастий широкосмуговий шум. На рис.2 схематично показано розпад звукового сигналу на конкретні частоти в типовому класі разом зі спадом сигналу, за яким обчислюється час реверберації. Дуже рідко вдається побачити спад звуку на 60 дБ через наявність фонового шуму у приміщенні, тому час реверберації прийнято розраховувати шляхом екстраполяції кращої прямої лінії спаду. В цьому випадку можна вимірювати час затухання звуку на 20, або 30 дБ. Спад звукової інтенсивності лінійний, а тому якщо на 20 дБ сигнал затухає за 0,2 секунд, то час зменшення рівня звуку на 60 дБ буде рівний 0,6 секунд. Час реверберації варіюється з частотою і тому

має бути виміряний в діапазоні частот; є різні способи усереднювання виміру на різних частотах.

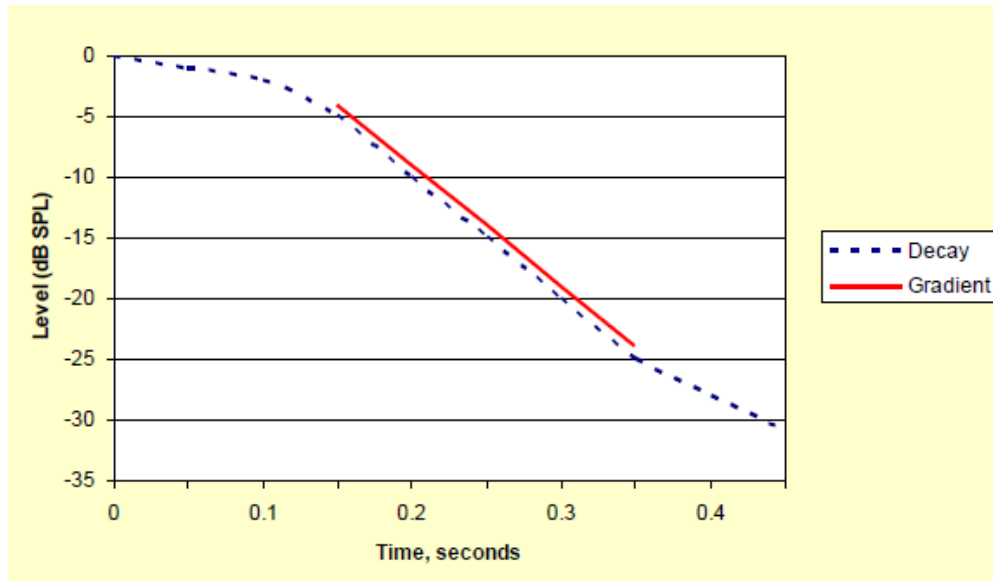


Рис.2. Вимірювання часу реверберації

Суб'єктивно, довга реверберація дає "живу" акустику номера. З короткою реверберацією звуки стають "сухі" або "мертві". Так само і створення проблем з розбірливістю мови, довгий час реверберації може призвести до підвищення активності шум як прямо, так і побічно через "Ломбардний ефект", коли люди говорять голосніше для здолення ревербераційного шуму. Це поширена проблема в ресторанах і обідніх залах, але також у меншій мірі проявляється і в інших місцях. І навпаки, "бібліотечний ефект"; у тихій кімнаті з малою реверберацією люди схильні стримувати свій голос. Це психоакустичні наслідки і їх відсутність легко передбачити.

Як було сказано вище, час реверберації варіюється залежно від частоти, і у більшості випадків реверберація на низьких частотах довше, ніж на середніх і високих. Це тому, що більшість матеріалів, що зустрічаються, наприклад, килими і штори, гірше поглинають звук на низьких частотах. Виключенням є панелі великої площі або дошки над повітряними просторами, які як правило, виступають поглинальними панелями на низьких частотах. Кімнати з кам'яними стінами природно більше реверберують низькі частоти і зниження цієї низькочастотної реверберації вимагають встановлення великих

площ поглиначів низькочастотного діапазону. Головний недолік сухої гіпсокартонової перегородки - це те, що вони за своєю природою менш міцні, чим стіни з цегляної кладки. Насправді, багато початкових та середніх шкіл значною мірою змонтовані зі стандартних гіпсокартонових плит, але надійніше було б зі стійких плит, які широко використовується в районах, де ушкодження вірогідніші.

Час реверберації зростає як пряма лінійна функція об'єму простору. Звідси і класам з високими стелями зазвичай потрібно більше акустичного поглинання, ніж при низьких стелях. Це проблема при обробці класних кімнат в традиційних вікторіанських школах з високими стелями і високими вікнами. Ми схильні проектувати нові класи з висотою стелі близько 2,4 метрів.

Загальний висновок полягав у значному поліпшенні умов праці як співробітників, так і учнів. Учителі і працівники служби комунікаційної підтримки прокоментували, що поліпшена акустика дозволила дітям з порушеннями слуху краще брати участь в зайнятті. Деякі співробітники повідомили про зниження рівня стресу, а усі учителі прокоментували поліпшення умов викладання і відмітили поліпшення поведінки і розуміння в класі.

Результати інтерв'ю відповідали результатам вимірів загального рівня звуку під час зайняття. Еквівалентний рівень звуку, в якому, очікувано, домінує голос учителя, знизився приблизно на 5 дБ за половину часу реверберації середніх частот, а еквівалентний рівень шуму, створеного учнями, знизився на 9 дБ за половину часу реверберації в порівнянні з 3 дБ, як очікувалось. Це вказує на те, що в акустично "мертвих" класах учні генерують менше шуму, що має на увазі кращу поведінку і уважніше прослуховування; і що це дозволяє учителеві говорити менш голосно, зменшуючи голосову напругу, при цьому досягаючи помітного поліпшення співвідношення сигнал/шум.

Результати показали напрочуд чітку закономірність, при якій якість постійно покращується у міру скорочення часу реверберації. Тому був



зроблений висновок, що усі співробітники і учні з порушеннями слуху або без них виграли б, якби усі класні кімнати були спроектовані відповідно до строгіших стандартів акустики приміщень, призначених для навчання учнів з порушеннями слуху.

## **ВИСНОВКИ**

У цьому розділі було аналізовано питання лункості та реверберації взагалі, та на прикладі статті у якій розглядався, шум утворений внаслідок реверберації та способи його усунення.

Дослідження проводились за допомогою програми WinMLS. Доцільно також звернути увагу на те що результати виявились не очікувано кращими, у зв'язку з тим що при зменшенні реверберації у приміщенні, знижується і рівень шуму, а значить для підтримання розмови не потрібно підвищувати голос, а значить фоновий рівень звуку стає меншим.

Хоча зниження рівня шуму після зменшення реверберації можна передбачити шляхом розрахунку, в даній статті передбачалось що зменшення рівня шуму буде не таким значним.

### **РОЗДІЛ 3. НЕДОЛІК СТАНДАРТІВ**

Нормування шуму невід’ємно залежить від типу роботи, яка виконується. Розумова діяльність вимагає його зменшення. Великою популярністю користуються приміщення з відкритим плануванням. Цей термін будемо розглядати, з огляду на ISO 3382-3:2012, «Acoustics – Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan offices» [9], як офіси та аналогічні приміщення, в яких можуть працювати багато людей, вести перемовини або бути присутніми незалежно від наявності постійних робочих місць. В такому типі приміщення діяльність людей впливає на оточуючих. Це спонукає до голосної мови, що перешкоджає концентрації уваги і знижує продуктивність.

#### **3.1. Приміщення відкритого планування**

Проектування приміщень відкритого планування включає в себе розташування робочих місць та взаємне положення робочих груп та колективів. Іншими факторами, які впливають на акустичні параметри приміщення, є звукопоглинання, висота перегородок, шаф та акустичних екранів, фоновий шум, ступінь ізольованості робочого місця, відстань між робочими місцями та розміри приміщення. Час реверберації не дає повної оцінки акустичних властивостей. Необхідно виміряти такі величини, як швидкість просторового спаду рівнів звукового тиску, коефіцієнт передачі мови та рівень фонового шуму.

На акустичні умови більш всього впливають предмети оформлення. Тому вимірювання проводять в повністю оформленому приміщенні. Важливо що дослід виконується за відсутністю людей, але при звичайному денному фоновому шумі. Який може бути шумом вентиляції, транспорту або системою штучного звукового маскування.

Одночислові величини призначені для опису ситуації, коли говорить одна людина, а решта мовчать. Тому вимірювання виконують за допомогою одного гучномовця. Якщо одночасно розмовляють безліч людей, то відбувається посилення ефекту маскування, і ступінь відволікання уваги

знижується. Таким чином, результати вимірювань описують ситуацію з найбільшим відволіканням. Проте цей стандарт може застосовуватися для оцінки акустичних властивостей приміщень, наприклад телефонних довідкових центрів (так званих кол-центрів), де безперервно розмовляють багато операторів. Шкільні та університетські аудиторії. У таких випадках одночасні розмови багатьох людей можуть створювати позитивний маскувальний ефект, в результаті чого цей Стандарт може недооцінювати фактичну конфіденційність при мовній комунікації.

Рівні звукового тиску та STI слід вимірювати в октавних смугах частот від 125 до 8000 Гц. STI повинен визначатись відповідно до IEC 60268-16:2011. [10]

У цілях акустичного проектування і встановлення нормативних значень результати вимірювання повинні бути перетворені в наступні чотири одночислові величини:

- відстань відволікання  $r_D$ ;
- швидкість просторового спаду рівня звуку мови;
- рівень звуку мови на відстані 4 м  $L_{p, A, S, 4m}$ ;
- середній рівень звуку фонового шуму  $L_{p, A, B}$ .

В доповнення до зазначених вище величинам, також можна визначити STI на найближчому робочому місці та відстань конфіденційності  $r_p$ .

При всіх видах вимірювань слід застосовувати ненаправлене джерело звуку, що створює рожевий шум. Альтернативно з метою вимірювання імпульсної перехідної характеристики та подальшого визначення на її основі шуканих величин допускається застосовувати детермінованих сигналів, що мають рожевий спектр, подібний псевдовипадковим послідовностям максимальної довжини (ПВПМД) або лінійно-частотно-модульованим сигналам.

Застосування ненаправленого джерела звуку виправдано тим, що в приміщеннях з відкритим плануванням люди не розмовляють в один напрямок постійно. При вимірах у відповідності з цим стандартом ненаправлене

джерело звуку повинно задовольняти вимогам ISO 3382-1. [9] Перевірку звукової потужності джерела виконують відповідно до того ж стандарту при розташуванні джерела на висоті 1,2 м над підлогою.

Вимірювання слід виконувати в приміщеннях з предметами інтер'єру, але без людей, за винятком фахівців, які виконують вимірювання.

Рівень фонового шуму вимірюють і застосовують для визначення значення STI. Пристрої опалення, вентиляції і кондиціонування повітря та інші джерела шуму повинні працювати з типовою для робочого часу потужністю. Якщо джерело працює при зниженій потужності, то значення STI будуть завищені, що призведе до завищення значень відстаней  $r_D$  і  $r_P$ . Якщо приміщення обладнане системою звукового маскуванню, то вона повинна бути включена під час вимірювань.

Оскільки вимірювання виконують у відсутність людей, шум від розмов не буде складовою рівня фонового шуму. Слід мати на увазі, що розмови в приміщенні з відкритим плануванням можуть іноді створювати позитивний ефект маскуванню.

Серед проведених досліджень у напрямку приміщень з відкритим плануванням, хочеться розглянути роботу [11].

### **3.2. Суб'єктивні дослідження**

Дослідження було проведено у 2015 році, його мета полягає в перевірці впливу різних акустичних середовищ на співробітників та їх показники стану здоров'я і працездатності. Для цього використовувалась перехресна конструкція, в якій порівнювали два різних типи звукопоглинань, встановлених в контрастних послідовностях на двох однакових поверхах в межах одного і того ж будинку. Для того, щоб отримати повне уявлення про акустику приміщення, були зібрані об'єктивні акустичні дані у відповідності з міжнародним стандартом щодо акустичних параметрів приміщення (ISO-3382-3, 2012 [9]). Дослід проводився у новій шестиповерховій будівлі. Були обрані два з шести поверхів, оскільки вони мали ідентичне планування, аналогічним чином мебльовані, а працівники виконували аналогічні робочі

завдання. Поверхи були з килимовим покриттям і зі стелею, в свою чергу оброблену звукопоглинаючою плиткою. У кожного співробітника був свій власний стіл.

Вибірка складалась із 151 співробітника. Поліпшення акустики було частково досягнуто за рахунок установки настінних звукопоглиначів. До установки звукопоглиначі не провітрювали, і в перші дні троє співробітників відчували подразнення у вигляді запаху і головного болю. Ці три співробітника були виключені з аналізу. У кількох, випадково вибраних, співробітників запитали, чи помітили вони будь-які запахи, але ніхто інший не помітив. Під час збору даних один співробітник отримав екран, який захищає від відблисків. Оскільки його акустичне середовище могло змінитися через екран, його також виключили з аналізу. Крім того, два співробітника управлінської ланки були проінформовані про структуру дослідження, також були виключені. Після виключення цих осіб розмір вибірки склав 145 чоловік. Перед збором даних працівників запросили на зустріч, на якій вони були проінформовані про цілі та порядок проведення дослідження. Їм було сказано, що будуть розіслані чотири електронні опитування, і що протягом всього часу проведення дослідження, акустика може змінитися кілька разів. Також повідомили, що в кінці дослідження їм буде надана повна інформація про результати дослідження і про те, які зміни були внесені. Базове дослідження було проведено безпосередньо перед тим, як було виконане оснащення приміщень. Після маніпуляцій отримали дві умови: 1) середовище з кращими показниками - були встановлені звукопоглинальні стінові панелі і збережені раніше існуючі плити з високим рівнем звукопоглинання стельові плити; 2) середовище з гіршими показниками - не встановлювали звукопоглинальні стінові панелі та були встановлені звуковідбивальні стельові плити, які замінили 55% початкових поглинальних плит. Обидва типи плит мали однаковий колір і форму, що забезпечувало мінімальну можливість помітити які небудь зміни.

У вихідні після проведення базового дослідження (T0), без оснащення панелями, були внесені зміни на четвертому поверсі, щоб створити краще звукопоглинання, і на п'ятому, щоб створити гірше. Через два тижні після того, як були зроблені перші маніпуляції, розіслали перше опитування. Вони завжди розсилалися по понеділках. Зміни акустичних умов проводились на вихідних, так на 4 поверсі провели маніпуляції для погіршення умов, на 5 - навпаки. Після двох тижнів впливу нових умов було розіслано друге опитування. Протягом трьох тижнів після другого дослідження було багато національних свят. Через це, третє дослідження було розіслано через шість тижнів після завершення другого дослідження. Всі дані по респондентам збиралися за допомогою електронного опитування.

Зміни і вплив на працівника оцінювалися за чотирма пунктами. Питання були такими: "...як сильно, протягом останніх семи днів, вас турбував звук вентиляції"; "...звуки комп'ютерів"; "...дзвінки на телефони"; "...телефонні дзвінки(розмови) колег". Всі питання, що стосуються перешкод, вимірювалися за п'ятибальною шкалою (де 1 "в малій мірі", 5 - "великою мірою").

Найближчі шумоподразники вимірювалися питанням "якою мірою вас за останні сім днів турбували мова і сміх колег, які сидять поруч з вами (в радіусі 10 м)".

Дистанційні шумоподразники були виміряні питанням " за останні сім днів, як сильно вас турбували розмови і сміхом колег, які сидять далі від вас (в радіусі 10 м)".

Когнітивний стрес був виміряний по шкалі когнітивного стресу (4 пункти) за шведською версією Копенгагенського психологічного опитувальника (COPSOQ) (Kristensen, Hannerz Høgh, & Borg, 2005 [12]). Питання на зразок: Яку частину часу, за минулий тиждень, ви вважали недоцільним мислити ясно?

Всі предмети були оцінені за 5-бальною рейтинговою шкалою (де 1- ніколи, 5 - завжди).

Професійна підшкала ефективності (6 пунктів) шведської версії Маслахського коефіцієнта вигорання і загального огляду (MBI - GS) була використана для оцінки і самооцінки ефективності (Schutte, Toppinen, Kalimo, & Schaufeli, 2000 [13]). Всі предмети оцінювалися за 7-бальною рейтинговою шкалою (1 - ніколи, 7 - щодня).

Також були включені кілька акустичних вимірювань у відповідності зі стандартом ISO 3382-3. [9] Це  $D_{2,s}$ ,  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  і радіус комфорту ( $r_c$ ).  $D_{2,s}$  - це швидкість просторового загасання зваженого з A рівнем звукового тиску мови на подвоєній відстані. Таким чином,  $D_{2,s}$  є мірою того, наскільки швидко рівень звуку, в дБ, був ослаблений в певній точці від джерела звуку.  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  - це номінальний A-зважений рівень звукового тиску нормальної мови на відстані 4,0 м від джерела звуку. Іншими словами,  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  показує, наскільки нормальний звук промови був ослаблений на відстані чотири метри від джерела звуку.

Всі об'єктивні акустичні дані були зібрані для того, щоб переконатися, що маніпуляції, які ми зробили з фізичним середовищем, привели до двох необхідних акустичних умов на кожному поверсі. Акустичні умови для кожного шляху були однаковими для T1 і T3, отже, об'єктивні вимірювання  $D_{2,s}$ ,  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  і  $r_c$  проведені для T1 були такі самі як і для T3.

39 співробітників за один чи кілька робочих днів до відповіді на опитування, пропрацювали в середовищі відкритого планування менше 15 годин за останні 7 робочих днів. Відповіді цих співробітників не враховувались.

У цьому дослідженні вивчалось, чи впливають (та як впливають) кращі і гірші акустичні умови, створювані менш або більш поглинаючими плитками і настінними поглиначами, на сприйняття працівниками відволікаючих факторів, когнітивного стресу, а також на професійну працездатність.

Згідно з нашими очікуваннями, акустичні заходи показали більш низький загальний рівень шуму протягом робочого дня, а також більш низький рівень  $D_{2,s}$ ,  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  і  $r_c$  в умовах, коли були встановлені плитки та стінові



панелі, що поглинають більше звукової енергії. Крім того, підтримуючи наші очікування, акустичні заходи показали більш високий загальний рівень шуму протягом робочого дня, а також більш високий рівень  $D_{2,S}$ ,  $L_{p,A,S,4\text{ м}}$  і  $r_c$  в умовах, де більше відбиваючих плит, та де були видалені стінові панелі.

Ці результати узгоджуються з попередніми дослідженнями (Kaarlela - Tuomaala та ін., 2009 [14]) і свідчать про те, що дії підвищеного рівня шуму мають негативний вплив на сприйняття працівниками відволікаючих факторів і на їх здоров'я. Однак, на відміну від попередніх досліджень (Perham та ін., 2007; Pierrette та ін., 2014 [15]), результати цього дослідження показали, що поліпшення акустики приміщень пов'язано не тільки з більш низьким рівнем об'єктивного шуму, але і з більш низьким рівнем сприйнятих подразнень і меншим когнітивним стресом. У свою чергу, результати припускають, що працівники краще приймали рішення, мали кращу концентрацію уваги і повідомляли про більш високу запам'ятовуваність. Ці результати можуть бути пояснені тим, що зниження рівня шуму в навколишньому середовищі знижує втручання шуму на більш високі когнітивні функції, які важливі для здатності працівників, що володіють знаннями, виконувати свої завдання (Diamond, 2013; Lavie та ін., 2004; Seddigh та ін., 2014, 2015 [16]). Ці дані можуть бути також пов'язані з даними Leather et al. (2003) [17], в яких сказано, що високий рівень шуму, на відміну від низького, взаємодіє з робочим навантаженням та впливає на роботу працівників - фракцію, організаційну прихильність і симптоми інфекційних захворювань. Отже, акустичний стан офісів відкритого планування, мабуть, має прямий зв'язок з показниками, як здоров'я, так і продуктивності працівників.

Як видно з рис. 2, маніпуляції між двома умовами мали більший вплив на п'ятому му поверсі у вигляді відмінностей у рівнях дБА. Незважаючи на те, що співробітники на обох поверхах виконували однакові завдання, під час зворотного зв'язку з працівниками було виявлено одне з можливих пояснень цих відмінностей. Співробітники на п'ятому поверсі проводили більше бесід і нарад за своїми столами і на відкритому просторі, ніж працівники на

четвертому поверсі, які або не проводили стільки нарад, або ж проводили їх в окремих конференц-залах. Тому акустичні відмінності між цими двома акустичними умовами, ймовірно, мали більш значні наслідки для п'ятого поверху, ніж для четвертого.

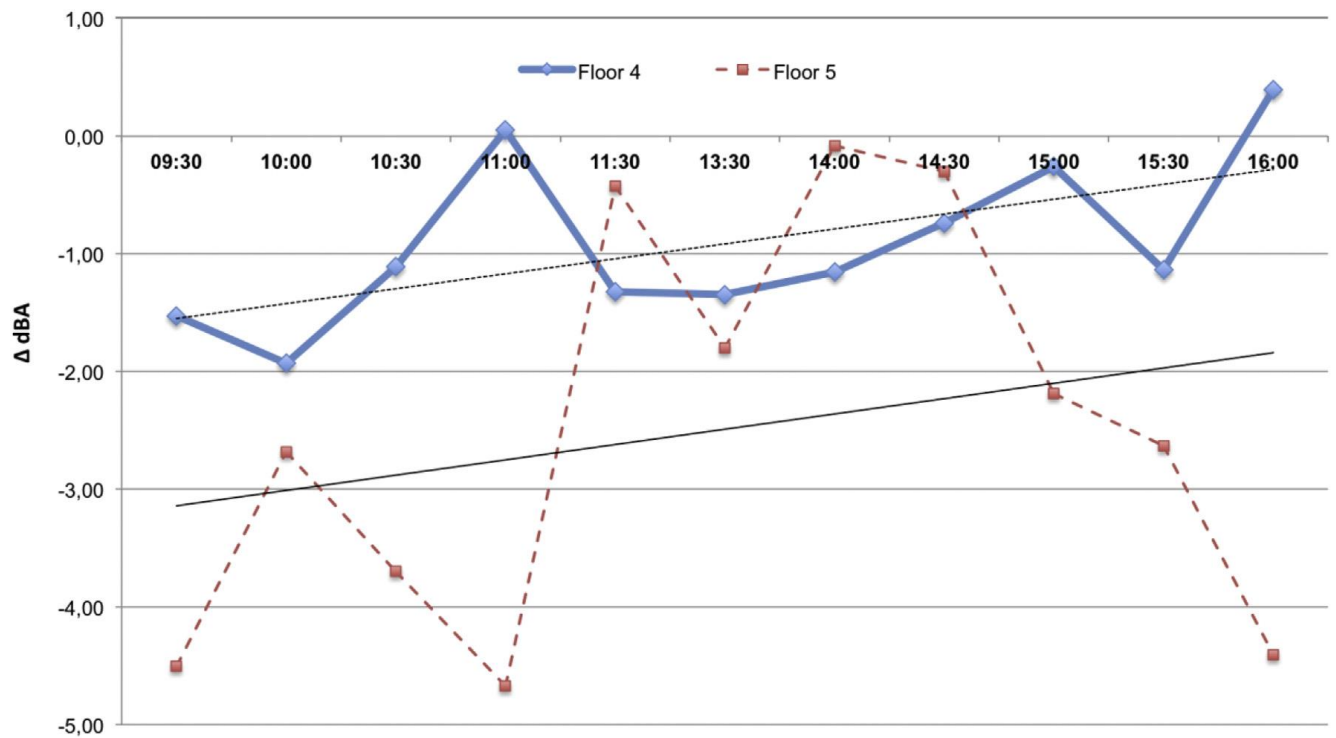


Рис.3. Різниця в рівні звукового тиску (дБА) між кращим та гіршим акустичним станом, в період піку активності робочого дня для кожного поверху.

З огляду на те, що соціальна та інша організаційна структура всередині організації не змінилася, ця робота має велике значення для впливу шуму на сприйняття працівниками когнітивних стресів і розладів. Ще однією сильною стороною даного дослідження є його кроссоверна конструкція. Маючи дві групи, які постійно перебували в стані, протилежному іншому, і змінюючись взад-вперед між умовами, був створений високо-контрольований польовий експеримент, який підвищує розвантажувальну здатність звукових сигналів. Крім того, були також зібрані об'єктивні дані. Об'єктивні вимірювання гарантували, що проведені маніпуляції вплинули на акустичну обстановку, таким чином підкріпивши результати, отримані під час вимірювань.

Стельові плити в обох умовах виглядали однаково, але звукопоглинач, встановлений на «кращому» поверсі, міг би показати респондентам, які сидять поруч зі стінними звукопоглиначами, що було вироблено поліпшення. У свою чергу, цей сигнал міг би систематично впливати на співробітників, щоб вони реагували більш позитивно, коли присутні абсорбенти. Тим не менш, є деякі аспекти, які говорять проти того, що наші результати в основному були б обумовлені таким ефектом плацебо. До того, як були зроблені які-небудь маніпуляції, співробітників на обох поверхах попросили відповісти на опитування (T0). На п'ятому поверсі були створені гірші умови, без настінних поглиначів і з використанням тканинних стельових плиток. Порівнюючи результат T0 з T1, ми бачимо, що ці співробітники, як правило, повідомляють про більшу кількість проблем під час T1.

Інша проблема, яка може бути піднята як обмеження, це короткий період експозиції для кожної умови до того, як були зібрані дані обстеження. Якщо через деякий час люди пристосуються до підвищеного рівня шуму, ці результати можуть виявитися не настільки релевантними, як можна припустити. Тим не менш, дослідження Banbury and Berry (2005) [18] не змогло виявити якого-небудь стійкого звикання до шуму, що протирічить будь-якій серйозній адаптації до підвищеного рівня шуму, що має місце серед співробітників.

Таким чином, було показано, що поліпшення акустики безпосередньо впливає на вимірювання як психофізичного стану людини, так і шумового забруднення приміщення. Виходячи з результатів цього польового дослідження та нормування шуму, можемо сказати що при вимірюванні акустичних параметрів в приміщеннях відкритого планування треба враховувати не тільки акустичні параметри самого приміщення а й шум що створюється самими людьми в цьому приміщенні.

## ВИСНОВКИ

В цьому розділі роботи була розглянута стаття «The effect of noise absorption variation in open-plan offices: A field study with a cross-over design(«Ефект зміни шумопоглинання в офісі з відкритим плануванням": Польове дослідження з кроссоверним дизайном»)» [11], що була присвячена зміні психофізичного стану людини після внесення змін в оточуюче акустичне середовище. Респонденти оцінювали найближчі та дистанційні шумоподразники, когнітивний стрес та свою ефективність(продуктивність).

В ІСО та подібних стандартах нормуються лише об'єктивні параметри та величини, такі як в цьому прикладі, відстань відволікання, швидкість просторового спадання рівня мови, і т.д. Дослідження в розглянутій статті вказує на необхідність проведення не менш важливих суб'єктивних вимірювань, що стосуються психофізичного стану людини і її сприйняття шуму.

## ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

З огляду на існуючу нормативну документацію, за останньою редакцією, України чіткої класифікації приміщень, що охоплює всі типи та види функціонального призначення не існує. Це ускладнює саму можливість нормування шуму та інших акустичних параметрів приміщення. Є певні рекомендації щодо акустичних умов, з точки зору акустичного проектування, а саме за об'ємом та типом програми на яку орієнтоване приміщення. Можемо бачити тільки часткову класифікацію, в документації яка направлена на певний тип будівлі з можливими типами приміщення в ньому. Норми по шуму враховують лише тип праці яку виконує людина, і відповідно не враховує в якому саме приміщенні вона виконується.

Ще одним недоліком нормативної бази України є допуски (норми) рівнів шуму в приміщеннях різного типу. Ця проблема впливає з попередньої, і призводить до того що іноді важко визначити тип приміщення, не знаючи його планування, або ж кількісні характеристики, такі як загальна площа, об'єм, кількість людей, що в ньому перебувають, і т.д. І, натомість, визначити допуски рівнів шуму для заданого приміщення також складно.

Такі недоліки видно на прикладі школи для дітей з вадами слуху та приміщення типу «open space», які розглянуті у другому та третьому розділах роботи. Це дуже специфічні приміщення, як за плануванням так і за роботою людей в них.

І, як видно, позбутись цього можна розширенням класифікації приміщень та досліджуваних параметрів. Це призведе до більш точного визначення типу досліджуваного приміщення, а значить буде менше проблем з визначенням типу приміщення, а значить менше проблем з визначенням допусків рівнів шуму.

Наступною вадю нормування шуму в Україні є наступне: при зменшенні реверберації у приміщенні, знижується і рівень шуму, а значить для підтримання розмови не потрібно підвищувати голос, а значить фоновий

рівень звуку стає меншим. Така особливість не враховується при вимірюванні рівнів шуму у приміщеннях, що пропонується виправити.

В ІСО та подібних стандартах нормуються лише об'єктивні параметри та величини, такі як в прикладі, наведеному у третьому розділі: відстань відволікання, швидкість просторового спадання рівня мови, і т.д. Дослідження в розглянутій статті вказує на необхідність проведення не менш важливих суб'єктивних вимірювань, що стосуються психофізичного стану людини і її сприйняття шуму. Виправити це також можна, проводячи незалежні суб'єктивні вимірювання, за результатом яких визначалось би які саме джерела шуму впливають на працездатність та самопочуття співробітників.

Нормативна база України має свої недоліки, але усі їх можна виправити. На прикладі правил дорожнього руху, які постійно вдосконалюються, з розвитком технологій, видно що нові правила з'являються з новим досвідом, і необхідно лише набувати цього досвіду та пропонувати щось нове.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Акустична техніка: навч. посіб.: у 15 т.:/ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», кафедра акустики та акустoeлектроніки; за заг. ред. В. С. Дідковського. – Київ: НМЦВО, 2000. Т.13: Архітектурна акустика: навч. посіб./ В. С. Дідковський, С. А. Луньова, О. В. Богданов; за заг. ред. В. С. Дідковського. – Київ: НТУУ «КПІ», 2012. – 284 с.
2. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. С изменением № 1 (СТ СЭВ 1930-79)
3. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
4. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, будинків і споруд від шуму
5. Державний класифікатор будівель та споруд.
6. Наказ «Про затвердження Інструкції про порядок проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна» (Інструкція, розд.1, п.2), Державний комітет будівництва, архітектури та житловожитлової політики України, 24.05.2001 № 127.
7. ГОСТ 30494-2011 Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях .
8. David Canning, Adrian James, «The Essex Study. Optimised classroom acoustics for all», The Association of Noise Consultants, May 2012.-31 p.
9. ISO 3382-3:2012, «Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan offices»
- 10.IEC 60268-16:2011 «Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index»
- 11.Aram Seddigh , Erik Berntson ,Fredrik Jönsson , Christina Bodin Danielson, Hugo Westerlund, «The effect of noise absorption variation in open-plan offices: A field study with a cross-over design», Journal of Environmental Psychology, 27 January 2015.-44 p.

12. Kristensen, T. S., Hannerz, H., Høgh, A., & Borg, V. (2005). The Copenhagen Psychosocial Questionnaire: a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 31(6), 438-449.
13. Schutte, N., Toppinen, S., Kalimo, R., & Schaufeli, W. (2000). The factorial validity of the Maslach Burnout Inventory-General Survey (MBI-GS) across occupational groups and nations. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 73, 53-66.
14. Kaarlela-Tuomaala, A., Helenius, R., Keskinen, E., & Hongisto, V. (2009). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices -longitudinal study during relocation. *Ergonomics*, 52(11), 1423-1444.
15. Perham, N., Banbury, S., & Jones, D. M. (2007). Do realistic reverberation levels reduce auditory distraction? *Applied Cognitive Psychology*, 21(7), 839-847.
16. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review Psychology*, 64, 135-168.
17. Leather, P., Beale, D., & Sullivan, L. (2003). Noise, psychosocial stress and their interaction in the workplace. *Journal of Environmental Psychology*, 23(2), 213-222.
18. Banbury, S., & Berry, D. C. (2005). Office noise and employee concentration: identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics*, 48(1), 25-37.